



Mineralogija

Sveučilišni prijediplomski studij Znanosti o okolišu – 1. godina (253566)

Doc. dr. sc. Petra Schneider

akad. god. 2024./25.

Sadržaj

- Pregled odabranih minerala – Nesilikati
 - Razred 4: Halogenidi
 - Razred 5: Karbonati
 - Razred 8: Borati
 - Razred 9: Sulfati
 - Razred 10: Fosfati



Razred 4. Halogenidi

Tip AX

- **halit NaCl**
- **silvit KCl**
- salmijak NH_4Cl

Tip AX_2

- **fluorit CaF_2**

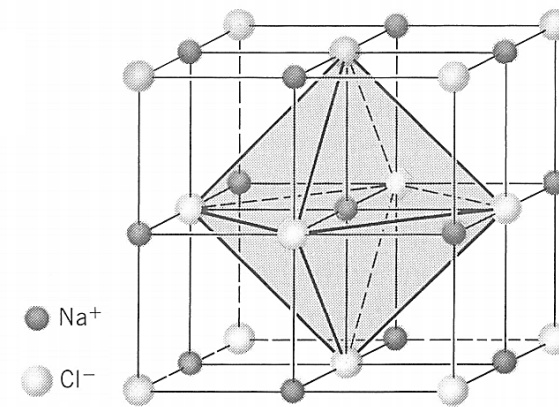
- većina halogenida nastaje kemijskim taloženjem (kristalizacijom iz otopina)
- najčešće vezano uz aridne (suhe) uvjete
- često kristaliziraju u redoslijedu koji ovisi o uvjetima: T, c, pH, redoks potencijal,...
- ionski spojevi s jednostavnim strukturama (pr. struktura halita)

Razred 4. Halogenidi

Tip AX – Grupa halita

HALIT NaCl

- Kristalni sustav: kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)
- Habitus: heksaedarski habitus, česti prodorni sraslaci, masivan ili zrnat
- Tvrdoća: $2 \frac{1}{2}$
- Gustoća: 2,16
- Kalavost: savršena po {100}
- Lom: školjkast
- Boja: bezbojan, bijel, uz nečistoće nijanse žute, crvene, ljubičast, plav
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast
- Pojavljivanje: u evaporitnim ležištima (solni dijapiri/dome)
- Dodatno: otapa se u vodi;
slanog okusa;
za proizvodnju Na, Cl i HCl



struktura halita

Preuzeto iz Klein (2002).



* kuhinjska sol

Razred 4. Halogenidi

Tip AX – Grupa halita

SILVIT KCl

Kristalni sustav:	kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)
Habitus:	heksaedarski habitus, česti prodorni sraslaci, masivan ili zrnat
Tvrdoća:	2
Gustoća:	1,99
Kalavost:	savršena po {100}
Lom:	neravan
Boja:	bijel, siv, plavičast, crvenkast
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	u evaporitnim ležištima (solni dijapiri/dome)
Dodatno:	otapa se u vodi; slanog okusa; glavni rudni mineral kalija



Razred 4. Halogenidi

Tip AX – Grupa halita

<https://solana-pag.hr/proizvod/sol-sa-smanjenim-udjelom-natrija-sitna/>

Sol sa smanjenim udjelom natrija, 250g

Solana Pag d.o.o. > Sol obogaćena nutrijentima / Funkcionalna hrana > Sol sa smanjenim udjelom natrija, 250g



Cijena: 2.00 €

- SOL, udio natrija smanjen je za 50% u odnosu na običnu sol
- prehrambeni proizvod
- sukladno Pravilniku o soli, sol je jodirana
- pakiranje: 0,25 kg
- tip pojedinačnog pakiranja: plastična posudica
- kategorija: sol obogaćena nutrijentima

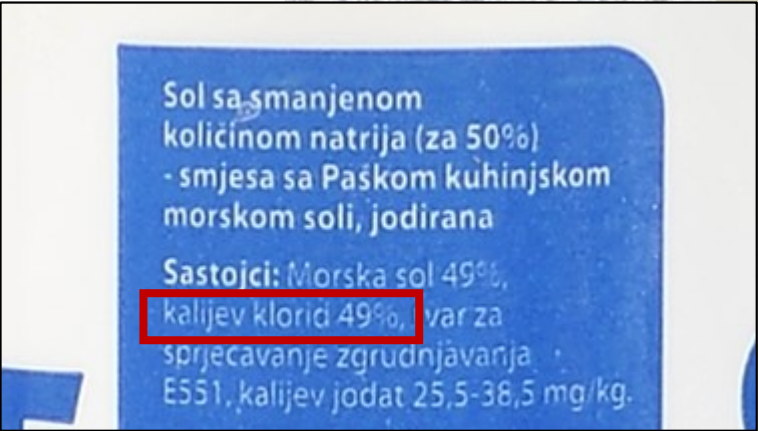
- 1 +

DODAJ U KOŠARICU

Oznake:	Kategorija:	SKU:
Sitna sol	Sol za prehranu	Sol obogaćena nutrijentima / Funkcionalna hrana
Soljenka		03859888155701

Sol je namirnica koju svi svakodnevno koristimo i koja se uzima u prosjeku 2-5g dnevno. Prateći svjetske trendove Solana Pag na tržište je stavila sol sa umanjenim udjelom natrija.

Okus je isti kao i kod obične kuhinjske soli, ali korištenjem ove soli smanjit ćete unos natrija za 50% što je najbolja preporuka za ljude koji imaju visoki krvni tlak ili srčane probleme.



Razred 4. Halogenidi

Tip AX_3 – Grupa fluorita

FLUORIT CaF_2

Kristalni sustav: kubičan ($4/m \bar{3} 2/m$)

Habitus: heksaedarski habitus, česti prodorni sraslaci, masivan ili zrnat

Tvrdoća: 4

Gustoća: 3,18

Kalavost: savršena po $\{111\}$

Lom: školjkast

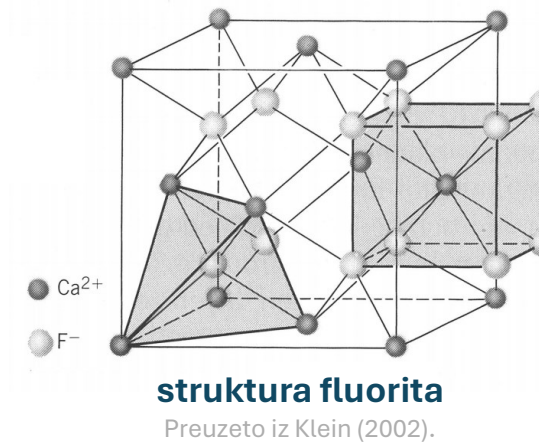
Boja: bezbojan, može biti svih boja

Crt: bijel

Sjaj: staklast

Pojavljivanje: u hidrotermalnim žilama, granitima i pegmatitima

Dodatno: najrašireniji mineral fluora;
za proizvodnju HF;
koristi se kao fluks* u industriji čelika i keramike



* sredstvo za sniženje točke taljenja

Razred 5. Karbonati

Tip AXO_3

Grupa kalcita

- **kalcit** $CaCO_3$
- gaspeit $(Ni, Mg, Fe^{2+})CO_3$
- **magnezit** $MgCO_3$
- **rodokrozit** $MnCO_3$
- **siderit** $FeCO_3$
- smithsonit $ZnCO_3$
- sferokobaltit $CoCO_3$
- vaterit $CaCO_3$

Grupa aragonita

- **aragonit** $CaCO_3$
- cerusit $PbCO_3$
- stroncijanit $SrCO_3$
- witherit $BaCO_3$

Tip $AB(XO_3)_2$

Grupa dolomita

- **dolomit** $CaMg(CO_3)_2$
- ankerit $Ca(Fe, Mg, Mn)(CO_3)_2$
- kutnahorit $Ca(Mn, Mg, Fe)(CO_3)_2$

Tip: karbonati s dodatnim anionima

- **malahit** $Cu_2(CO_3)(OH)_2$
- **azurit** $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$

- velika uloga u sedimentnim procesima
- u građevinarstvu → arhitektonski kamen ili prerađevine (cement, vapno)

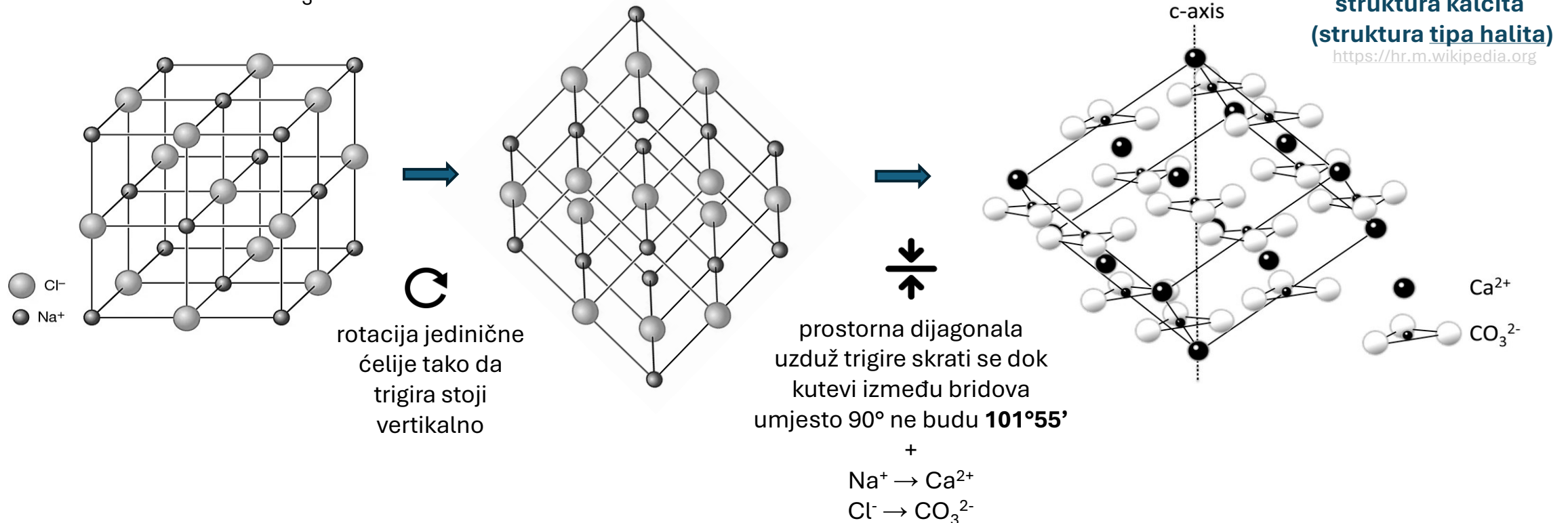
Razred 5. Karbonati

Tip AXO₃

Grupa kalcita

- **kalcit** CaCO₃
- **magnezit** MgCO₃
- **rodokrozit** MnCO₃
- **siderit** FeCO₃
- smithsonit ZnCO₃
- sferokobaltit CoCO₃

Kristalni sustav: heksagonski ($\bar{3} 2/m$)
Habitus: romboedarski, skalenoedarski
Tvrdoca: 3 – 4 ½
Gustoća: 2,71 – 4,45
Kalavost: savršena po {10 $\bar{1}$ 4}

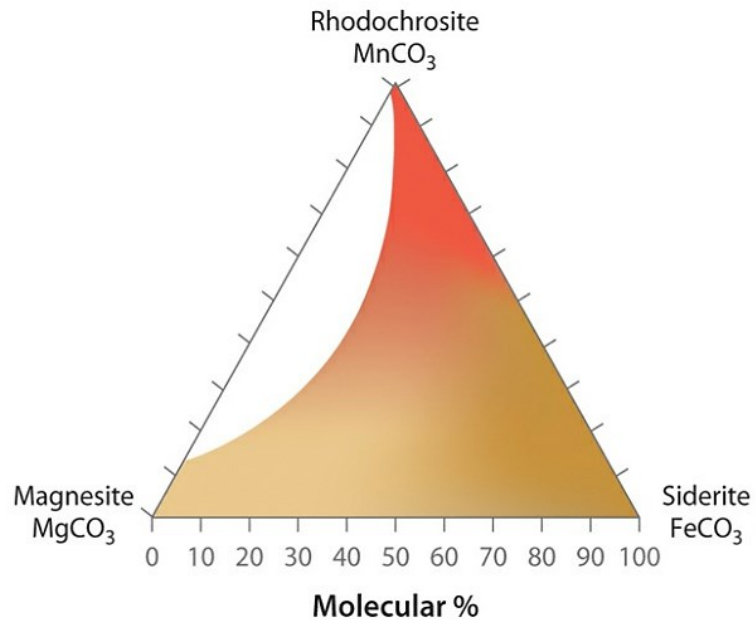


Razred 5. Karbonati

Tip AXO_3

Grupa kalcita

- kalcit $CaCO_3$
- magnezit $MgCO_3$
- rodokrozit $MnCO_3$
- siderit $FeCO_3$
- smithsonit $ZnCO_3$
- sferokobaltit $CoCO_3$

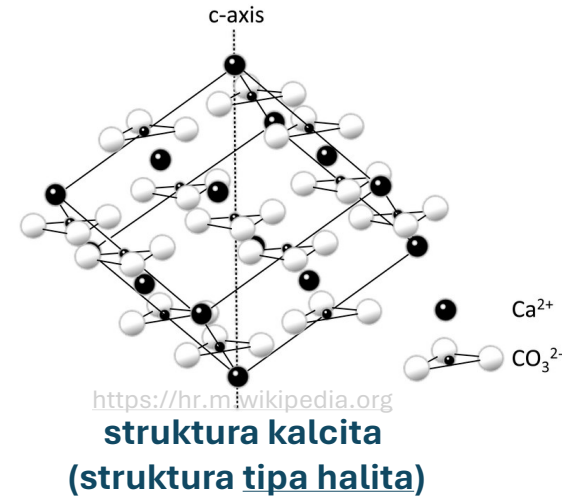


Razred 5. Karbonati

Tip AXO_3 – Grupa kalcita

KALCIT $CaCO_3$

- Kristalni sustav: heksagonski ($\bar{3} 2/m$)
- Habitus: postoji veliki broj kombinacija kristalnih ploha (preko 300): prizmatski, romboedarski, skalenoedarski habitus, česti sraslaci
- Tvrdoća: 3
- Gustoća: 2,71
- Kalavost: savršena po $\{10\bar{1}4\}^*$
- Lom: školjkast
- Boja: bezbojan do bijele boje (različite boje moguće zbog uklopaka)
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast
- Pojavljivanje: jedan od najrasprostranjenijih minerala; u svim geološkim sredinama; u skeletima brojnih živih organizama
- Dodatno: reagira s 10 %-tnom HCl; sirovina za proizvodnju vapna



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

* tupi romboedar, 3 seta pukotina

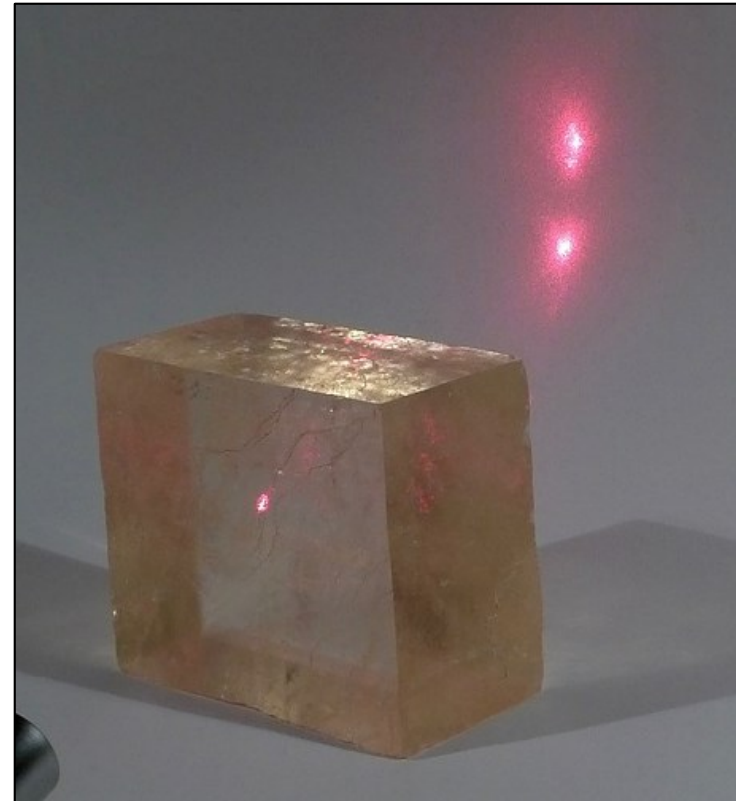
Razred 5. Karbonati

Tip AXO_3 – Grupa kalcita

KALCIT $CaCO_3$

visoki dvolom = pojava da se svjetlost prolazom kroz kristal lomi dvostruko

„islandski dvolomac”



Razred 5. Karbonati

Tip AXO_3 – Grupa kalcita

MAGNEZIT $MgCO_3$

Kristalni sustav: heksagonski ($\bar{3} 2/m$)

Habitus: rijetki romboedarski kristali,
obično masivan

Tvrdoća: $3\frac{1}{2} - 4\frac{1}{2}$

Gustoća: 3,0 – 3,5

Kalavost: savršena po $\{10\bar{1}4\}^*$

Lom: školjkast

Boja: bezbojan do bijele boje (različite boje moguće zbog
uklopaka)

Crt: bijel

Sjaj: staklast

Pojavljivanje: u magmatskim stijenama, hidrotermalne izmijene
ultrabazičnih stijena; u sedimentima i metamorfnim
stijenama (zamjena kalcita i/ili dolomita)

Dodatno: reagira s vrućom HCl



* tupi romboedar, 3 seta pukotina

Razred 5. Karbonati

Tip AXO_3 – Grupa kalcita

RODOKROZIT $MnCO_3$

- Kristalni sustav: heksagonski ($\bar{3} 2/m$)
- Habitus: rijetki romboedarski ili skalenoedarski kristali; obično masivan, zrnast, sigast, bubrežast
- Tvrdoća: $3\frac{1}{2} - 4$
- Gustoća: 3,70
- Kalavost: savršena po $\{10\bar{1}4\}^*$
- Lom: neravan do školjkast
- Boja: nijanse ružičaste, crvene i smeđe
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast do sedefast
- Pojavljivanje: u hidrotermalnim žilama, sedimentima



* tupi romboedar, 3 seta pukotina

Razred 5. Karbonati

Tip AXO_3 – Grupa kalcita

SIDERIT $FeCO_3$

- Kristalni sustav: heksagonski ($\bar{3} 2/m$)
- Habitus: romboedarski kristali, rjeđe sklenoedarski, pločasti; masivan, zrnat, bubrežast
- Tvrdoća: $3\frac{1}{2} - 4\frac{1}{2}$
- Gustoća: 3,96
- Kalavost: savršena po $\{10\bar{1}4\}$ *
- Lom: neravan do školjkast
- Boja: bezbojan; žuto-, sivo-, crvenosmeđ**;
zelenosiv, bijel, crn...
- Crt: bijel, žut ili smeđ**
- Sjaj: staklast (kristali), sedefast do svilenkast (agregati)
- Pojavljivanje: u uslojenim sedimentima, BIF-ovima, hidrotermama, pegmatitima
- Dodatno: rudni mineral željeza;
reagira s vrućom HCl

* tupi romboedar, 3 seta pukotina

** ovisi o stupnju oksidacije željeza

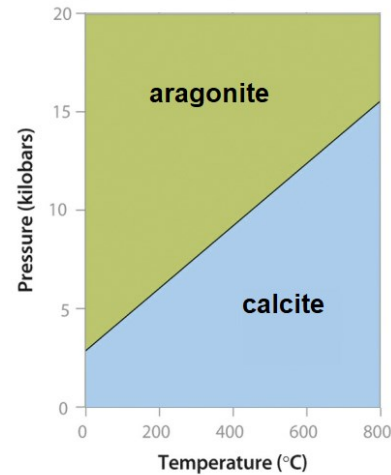


Razred 5. Karbonati

Tip AXO₃ – Grupa aragonita

ARAGONIT CaCO₃

- Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)
- Habitus: štapićasti kristali, pločasti, sraslaci po {110}, sraslaci trojci (pseudo-heksagonska simetrija)
- Tvrdoća: 3 ½ – 4
- Gustoća: 2,95
- Kalavost: dobra po {010}
- Lom: poluškoljkast
- Boja: bezbojan, bijel, žućkast, siv, zelen, plav, ljubičast, crvenkast, smeđ
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast
- Pojavljivanje: iz toplih voda u kavernama vapnenaca, uz tople izvore i gejzire; u skeletima brojnih živih organizama (pr. mekušci – biseri)
- Dodatno: nestabilan – vremenom prelazi u kalcit



Eksperimentalna polja stabilnosti aragonita i kalcita.

Preuzeto i prilagođeno iz Klein & Philpotts (2013).



Razred 5. Karbonati

Tip $AB(XO_3)_2$ – Grupa dolomita

DOLOMIT $CaMg(CO_3)_2$

Kristalni sustav: trigonski ($\bar{3}$)

Habitus: jednostavni romboedarski kristali;
masivan, zrnat, vlaknast, pizolitski

Tvrdoća: $3\frac{1}{2} - 4$

Gustoća: 2,85

Kalavost: savršena po $\{10\bar{1}1\}$

Lom: školjkast

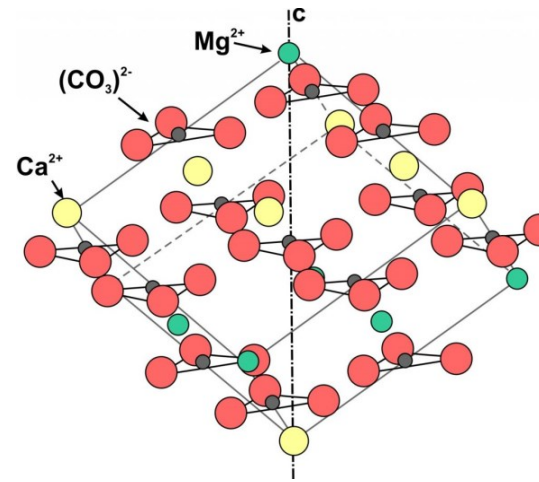
Boja: bezbojan, bijel, sivkast, zelenkast, svijetlosmeđ,
ružičast

Crt: bijel

Sjaj: staklast do sedefast

Pojavljivanje: u hidrotermalni žilama, u sedimentima;
dijagenetski produkt – stijena dolomit

Dodatno: ne reagira s 10 %-tnom HCl (razlikovanje na
terenu od kalcita);
građevni i arhitektonski kamen



struktura dolomita
(struktura tipa halita)
<https://geologyistheway.com>



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

Razred 5. Karbonati

kalcit
 CaCO_3

vs.

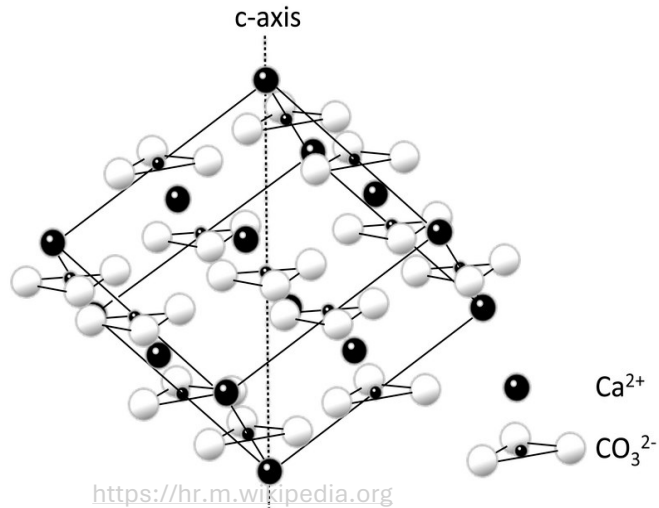
magnezit
 MgCO_3

vs.

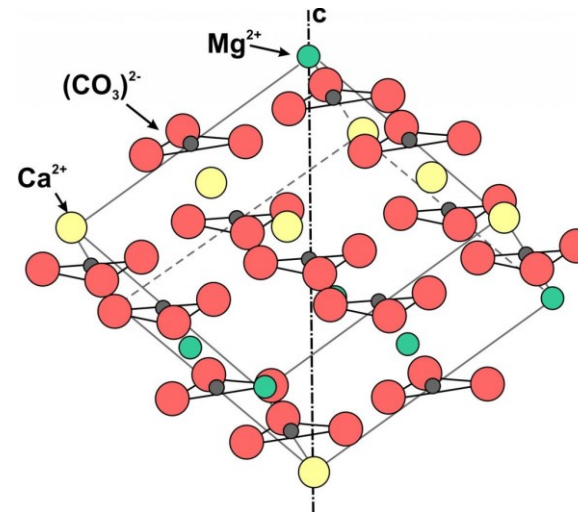
dolomit
 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

vs.

Mg-kalcit
 $(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$



struktura kalcita
(struktura tipa halita)



struktura dolomita
(struktura tipa halita)

izmjena slojeva s ionima
Mg i Ca okomito na os c

svi slojevi jednaki → do
zamjene $\text{Ca} \leftrightarrow \text{Mg}$ može
doći u bilo kojem sloju
(nasumična zamjena)

Razred 5. Karbonati

Tip: karbonati s dodatnim anionima

MALAHIT $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: rijetko se nađu kristali (vrlo tanki, igličasti); u bubrežastim ili sigastim agregatima, kao korice; uvijek izmjena tamnijih i svjetlijih zona

Tvrdoća: $3\frac{1}{2} - 4$

Gustoća: 3,6 – 4,05

Kalavost: savršena po {201}

Lom: školjkast do neravan

Boja: svijetlo- do tamnozeleno, crnozeleno

Crt: svijetlozelen

Sjaj: dijamantan (kristali), sedefast do baršunast (agregati)

Pojavljivanje: oksidacijske zone bakarnih ležišta (sekundarni mineral)



Razred 5. Karbonati

Tip: karbonati s dodatnim anionima

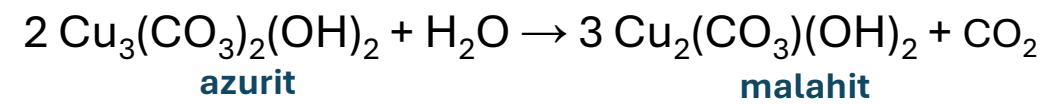
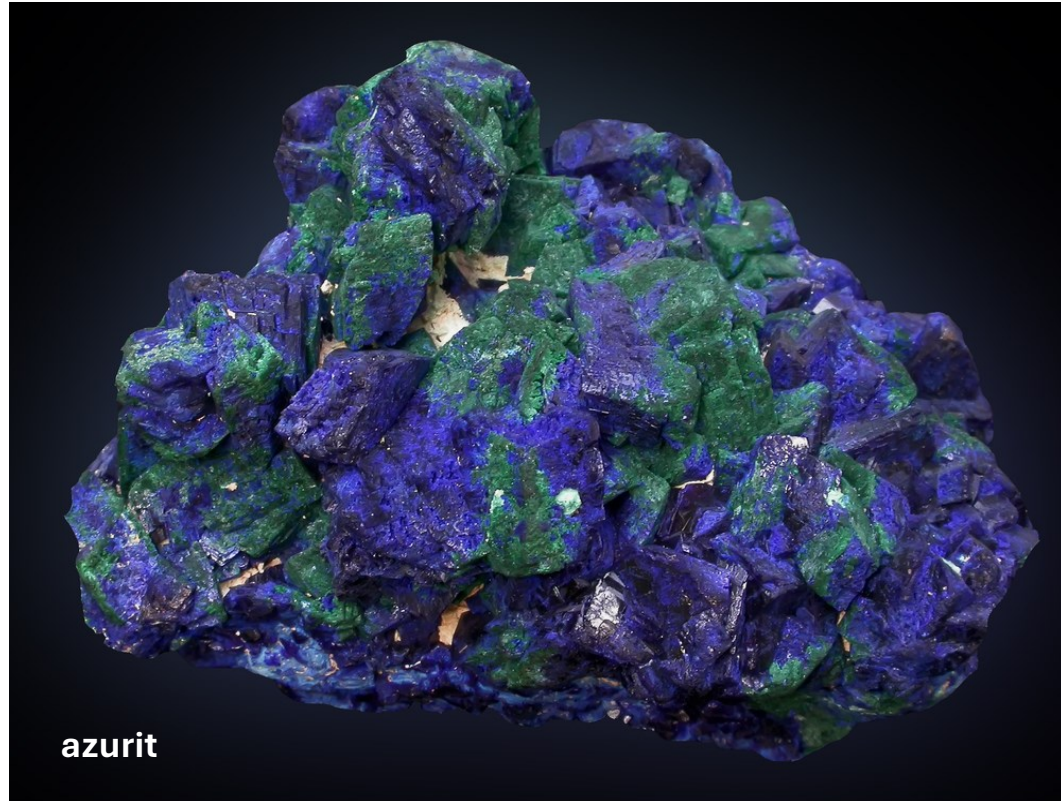
AZURIT $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	kristali pločasti po {001}, kratkoprizmatski, često u vidu rozeta i subparalelnih kristala
Tvrdoća:	3 ½ – 4
Gustoća:	3,77
Kalavost:	nesavršena po {011}, dobra po {100}
Lom:	školjkast
Boja:	azurnoplav, svijetlo- do tamnoplav
Crt:	plav
Sjaj:	staklast do mutan
Pojavljivanje:	oksidacijske zone bakarnih ležišta (sekundarni mineral)
Dodatno:	nekad korišten kao pigment u slikarstvu



Razred 5. Karbonati

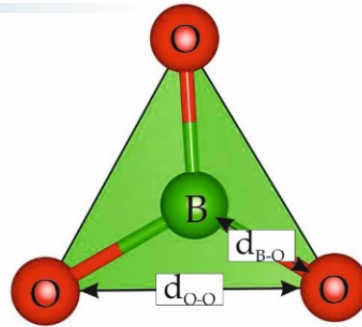
Tip: karbonati s dodatnim anionima



Razred 8. Borati

Podrazred: nezoborati

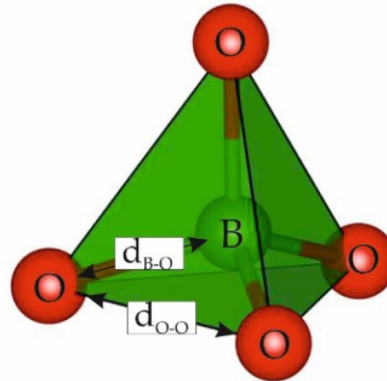
- ulexit $\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- boraks $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$



BO_3 trokuti

Podrazred: inoborati

- proberit $\text{NaCaB}_5\text{O}_7(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$



BO_4 tetraedri

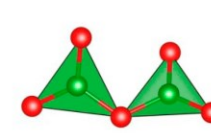
Podrazred: filoborati

- tuzlait $\text{NaCaB}_5\text{O}_8(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

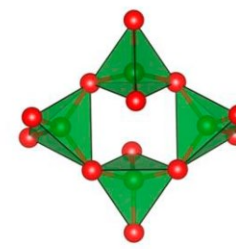
Podrazred: tektoborati

- boracit $\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$

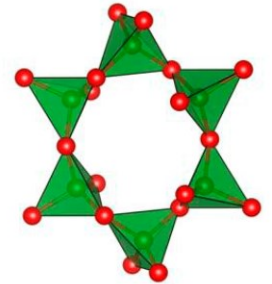
- relativno rijetki u prirodi, ali veliki broj mineralnih vrsta
- često prisutni samo na jednom lokalitetu
- većinom vezani uz alkalna jezera u aridnim (suhim) klimama → evaporiti



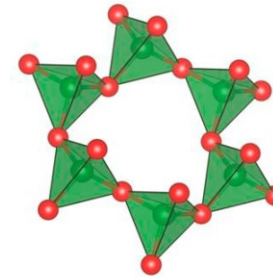
(a) (2Δ)
kurchatovite, $\text{CaMg}(\text{B}_2\text{O}_5)$ [33]



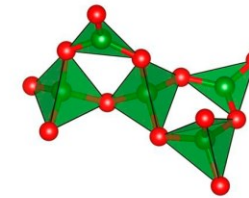
(b) $(4t)$
johachidalite, $\text{CaAl}(\text{B}_3\text{O}_7)$ [34]



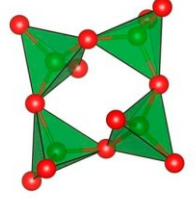
(c) $(6t)$



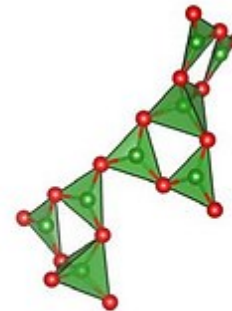
(d) $(6t)$
 $\text{NdAl}_{2.07}(\text{B}_4\text{O}_{10})\text{O}_{0.60}$ [35]



(e) $(2\Delta + 3t)$
 $\text{RCo}(\text{BO}_2)_5$ [36]



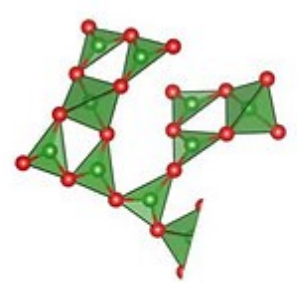
(f) $(4t)$



(d) $(2\Delta + 1t) + (4\Delta + 1t)$
 $\alpha\text{-Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13}$ [51]



(e) $(2\Delta + 2t) + (1\Delta + 2t) + (1\Delta)$
 $\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3$ [14]



(f) $(2\Delta + 1t) + (4\Delta + 1t) + (1t) + (1/2t)$
 $5\text{K}_2\text{O} \cdot 19\text{B}_2\text{O}_3$ [52]

Razred 9. Sulfati

+ oksisoli Se, Te, Cr

Tip A_2XO_4

- thenardit Na_2SO_4

Tip AXO_4

- **anhidrit** $CaSO_4$
- **barit** $BaSO_4$
- anglesit $PbSO_4$
- celestin $SrSO_4$

Tip: sulfati s dodatnim anionima

- kalijski alaun $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
- bassanit* $2 CaSO_4 \cdot H_2O$, $CaSO_4 \cdot \frac{1}{2} H_2O$
- **gips** $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
- **halkantit**** $CuSO_4 \cdot 5H_2O$
- heksahidrit $MgSO_4 \cdot 6H_2O$
- melanterit*** $FeSO_4 \cdot 7H_2O$
- epsomit $MgSO_4 \cdot 7H_2O$

* zidarski gips

** modra galica

*** zelena galica

- u raznim geološkim sredinama
- značajne sirovine za kemijsku industriju i farmaciju

Razred 9. Sulfati

Tip AXO₄ – Anhidrit

ANHIDRIT CaSO₄

- Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)
- Habitus: rijetko kristali (3 pinakoida – pseudokubični ili pločasti), obično masivan do zrnat
- Tvrdoća: 3 ½
- Gustoća: 2,98
- Kalavost: savršena po {010} i {100}, dobra po {001}
- Lom: neravan, oštrog brida
- Boja: bezbojan, bijel, siv, plavkast, ljubičast, crvenkast do smeđ
- Crt: bijel
- Sjaj: staklast, mastan
- Pojavljivanje: u evaporitnim ležištima, kristalizira na T > 40 °C



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

Razred 9. Sulfati

Tip: Sulfati s dodatnim anionima – Gips

GIPS $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Kristalni sustav:	monoklinski (2/m)
Habitus:	jednostavni kristali, pločast, česti sraslaci („lastin rep”, „pustinjska ruža”)
Tvrdoća:	2
Gustoća:	2,32
Kalavost:	savršena po {010}, {100} i {011}
Lom:	kukast do školjkast
Boja:	bezbojan, bijel, siv, nijanse žute, crvene, smeđe (zbog nečistoća)
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast, svilenkast
Pojavljivanje:	najčešći sulfat; u sedimentima, evaporitima, oksidacijskim zonama sulfidnih ležišta
Dodatno:	koristi se za proizvodnju zidnih ploča („knauf”)



alabaster = masivni gips



satin spar

Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>



selenit =
prozirni kristali



pustinja
ruž

pustinja ruža
(u pijescima aridnih područja,
isparavanjem vode iz tla)

Razred 9. Sulfati

Tip: Sulfati s dodatnim anionima – Gips



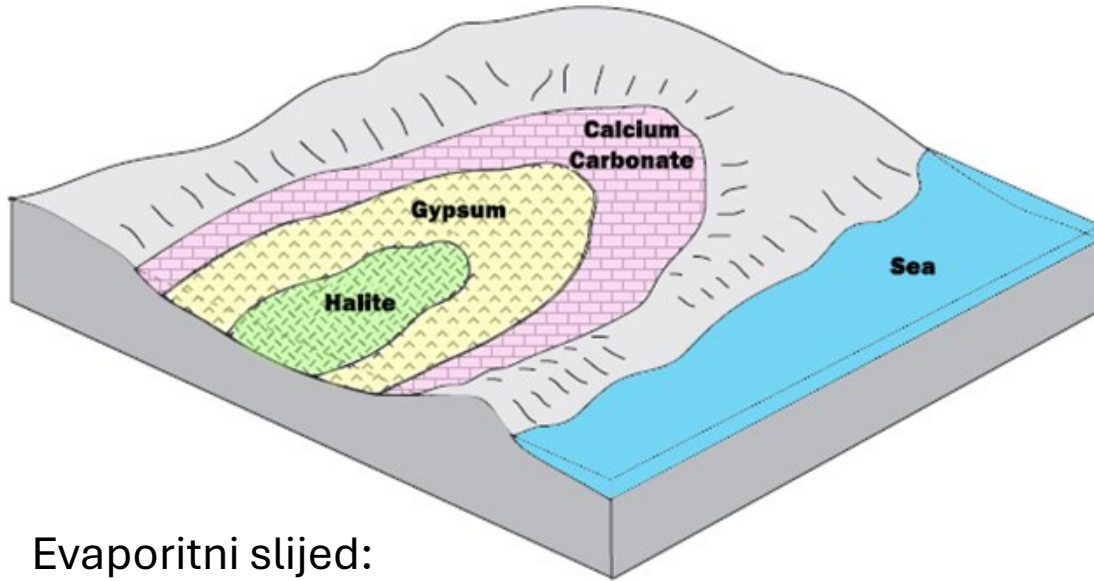
Cave of the Crystals, Giant Crystal Cave

(Naica, Chihuahua, Mexico)

- veličina najvećeg kristala: 11,5 m x 3,2 m, volumen ~5 km³, masa ~12 t
- neometano rasli 0,5–0,9 mil. god. (procjena)



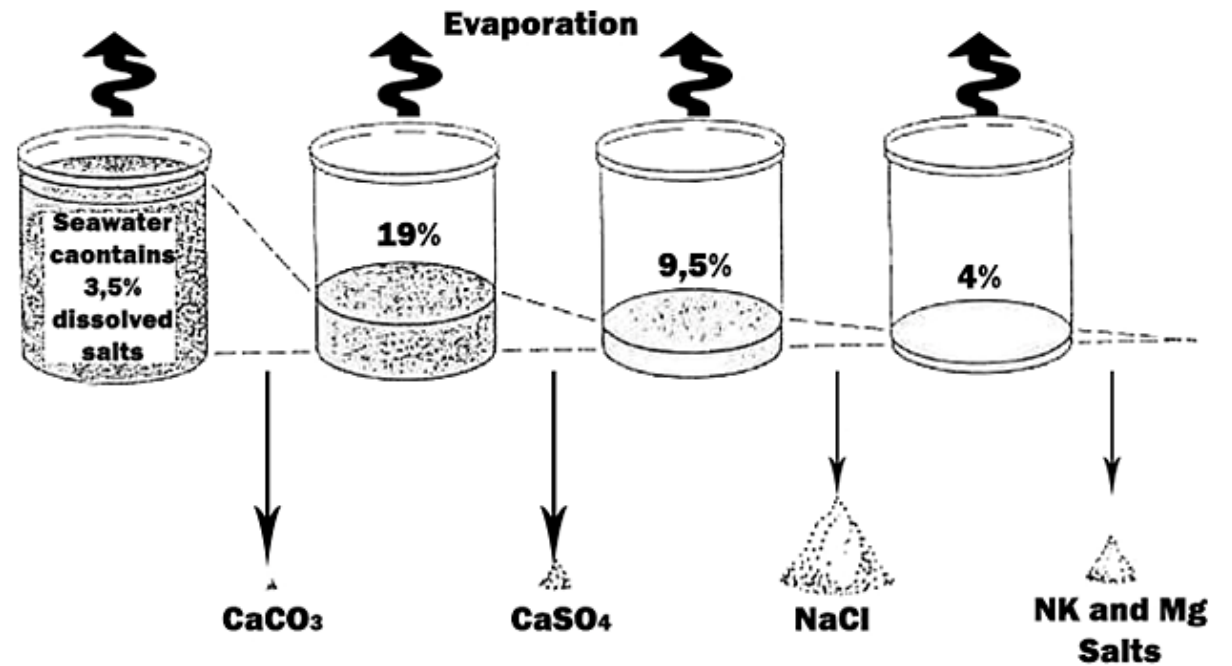
Evaporiti



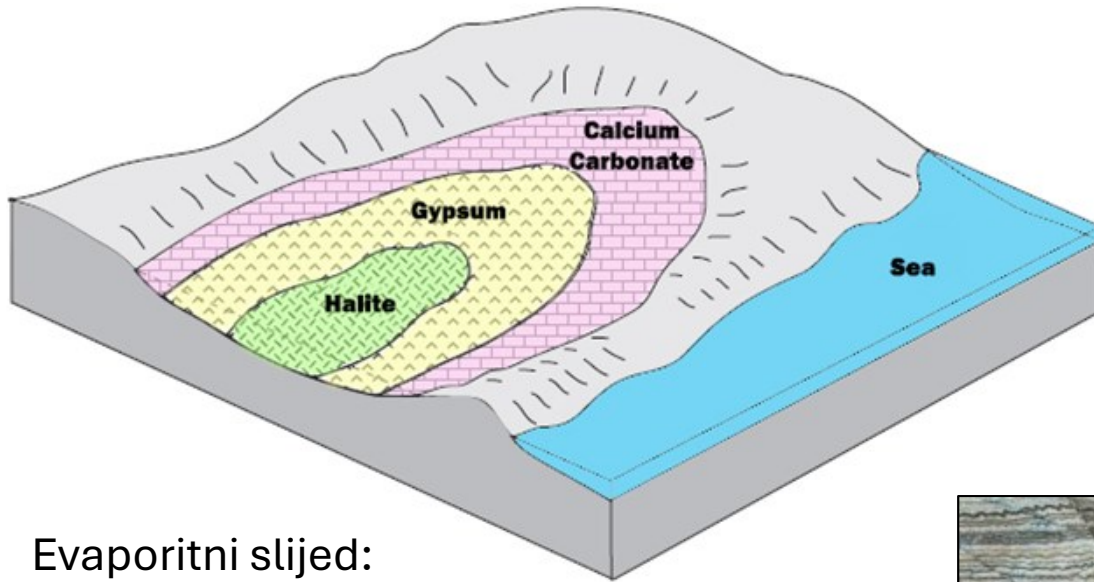
Evaporitni slijed:

- kalcit CaCO_3
- gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- anhidrit CaSO_4
- halit NaCl
- Mg-sulfati (epsomit, heksahidrit)
- silvit KCl
- Mg-kloridi
- borati

porast topivosti



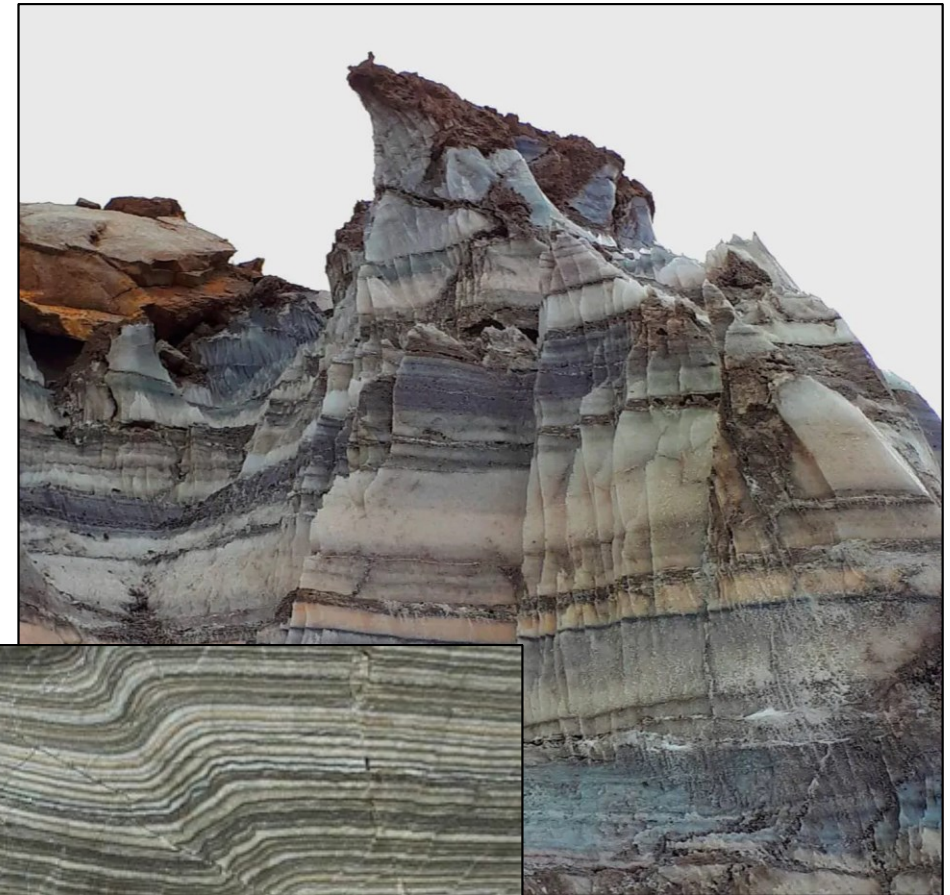
Evaporiti



Evaporitni slijed:

- kalcit CaCO_3
- gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- anhidrit CaSO_4
- halit NaCl
- Mg-sulfati (epsomit, heksahidrit)
- silvit KCl
- Mg-kloridi
- borati

porast topivosti



Razred 9. Sulfati

Tip AXO₄ – Grupa barita

BARIT BaSO₄ *težac

Kristalni sustav: rompski (2/m 2/m 2/m)

Habitus: raznoliki kristali (pločasti, štapićasti, izometrični); agregati – masivni, zrnati, vlaknasti, sigasti, nodule, konkrecije,...

Tvrdoća: 3 – 3 ½

Gustoća: 4,50

Kalavost: savršena po {001} i {210}, dobra po {010}

Lom: neravan

Boja: bezbojan, bijel, žut, crvenkast do smeđ, siv, zelenkast, plav

Crt: bijel

Sjaj: staklast, smolast

Pojavljivanje: u hidrotermalnim žilama, u sedimentima

Dodatno: najčešći barijev mineral; vrlo teško topiv; koristi se u naftnoj industriji u isplakama za bušotine



Razred 9. Sulfati

Tip: Sulfati s dodatnim anionima – Grupa halkantita

HALKANTIT* $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Kristalni sustav:	triklinski ($\bar{1}$)
Habitus:	kratkostupičasti (pločasti) kristali; masivan, zrnat, radijalnozrakast; kao korice ili prah
Tvrdoća:	2 ½
Gustoća:	2,28
Kalavost:	dobra po {110}
Lom:	školjkast
Boja:	kobaltno plava
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast
Pojavljivanje:	oksidacijske zone ležišta bakarnih sulfida (sekundarni mineral)
Dodatno:	stabilan samo u suhim zonama – lako se otapa u vodi, lako dehidrira



* modra galica

Razred 10. Fosfati

+ oksisoli As i V

Tip $AB(XO)_4$

- trifilit $LiFePO_4$

Tip $A(XO_4)$

- ksenotim YPO_4
- monacit $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$

Tip: fosfati s dodatnim anionima

- baričit $(Mg,Fe)_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$
- ambligonit $(Li,Na)Al(PO_4)(F,OH)$
- apatit, $Ca_5(PO_4)_3(Cl,F,OH)$
- lazulit $MgAl_2(PO_4)_2(OH)_2$
- turquois $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$

TECHNOLOGY-CRITICAL ELEMENTS

TECHNOLOGY-CRITICAL ELEMENTS																		
1	2																	10
H	He																	Ne
3	4																	10
Li	Be																	Ne
11	12																	18
Na	Mg																	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71					
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu					
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103					
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr					

- u sedimentima
- u pegmatitima → gemološki materijal
- neki od bitnih rudnih minerala za dobivanje kritičnih elementa (REE, Li)

KRITIČNI ELEMENT = kem. element koji je ključna sirovina za moderne i nove tehnologije → značajni porast njihove upotrebe → povećana potražnja

REE

REE

- elementi rijetkih zemalja
- rijetki zemni metali
- engl. *rare earth elements*

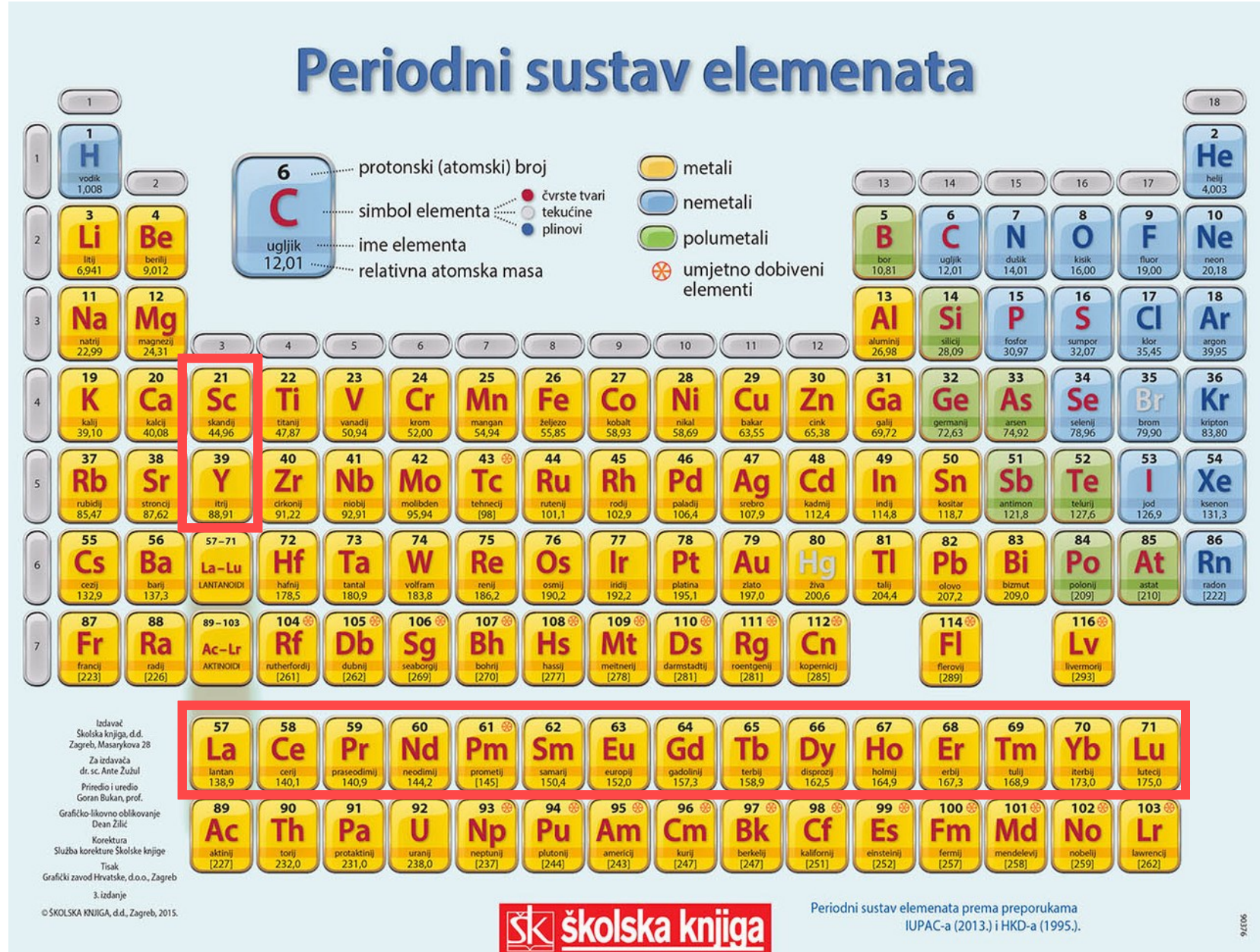
→ lantanidi + Y + Sc

LREE (laki) = La – Sm

HREE (teški) = Gd – Lu (Ho – Lu)

MREE* (srednji) = Sm – Ho

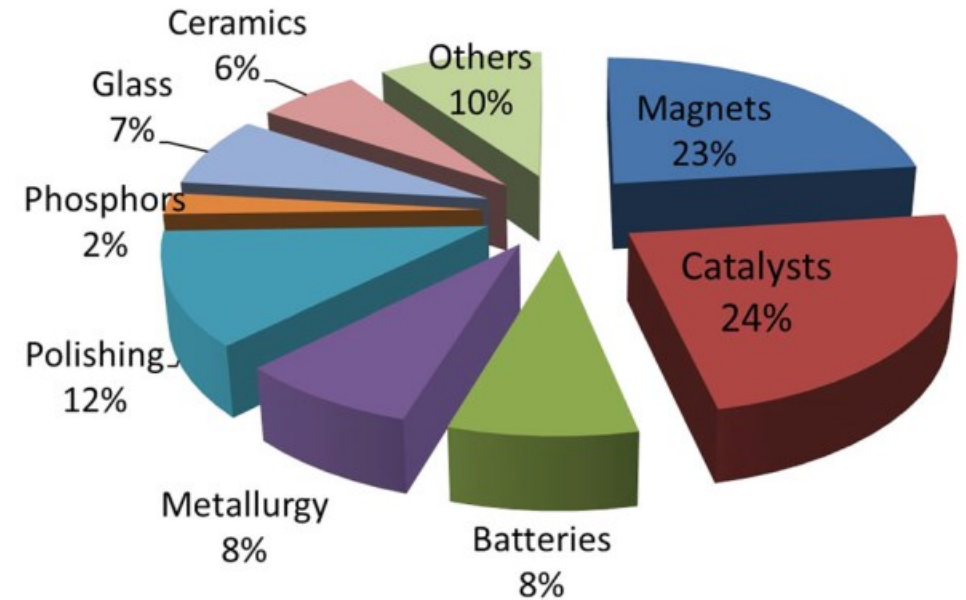
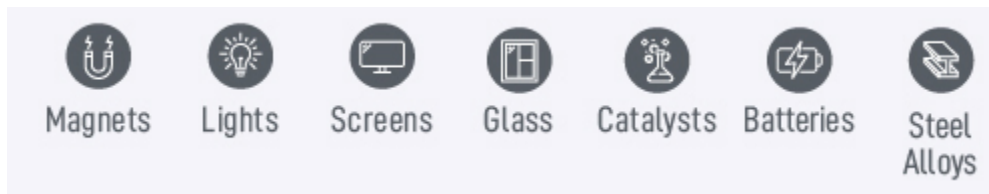
! Kritični elementi u širokom spektru visokotehnoloških (high-tech) proizvoda



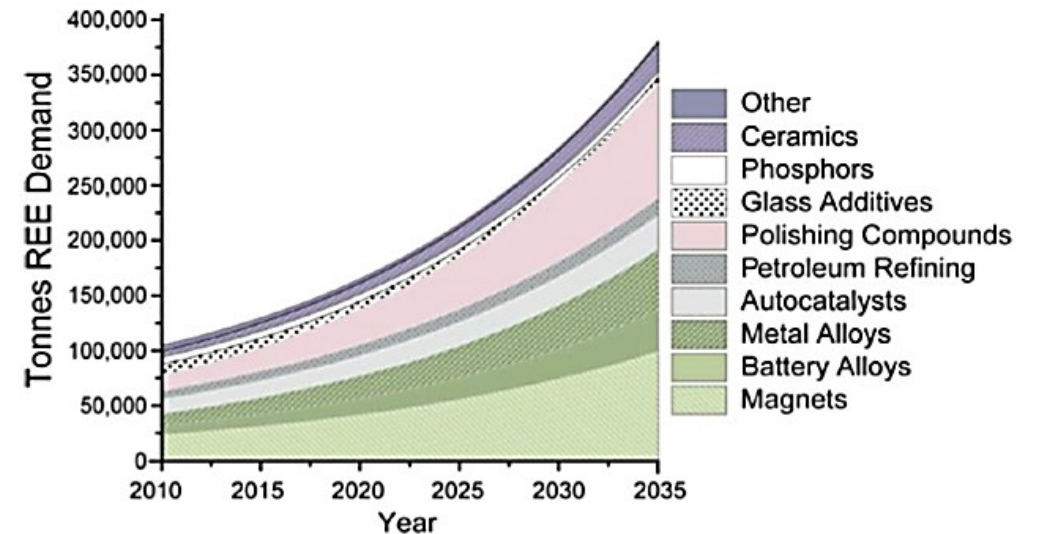
REE

! Bitne komponente u raznim industrijskim i visokotehnološkim primjenama: elektronika, čista (zelena) energija, zrakoplovstvo, automobilska i vojna industrija, ...

- permanentni magneti (mobiteli, televizori, računala, automobili, vjetroturbine, MRI uređaji, mlazni zrakoplovi, ...)
- zelene tehnologije: vjetroturbine, gorive ćelije, punjive baterije i električna vozila
- luminescentna svojstva: LCD zasloni, LED diode, laseri i fluorescentna rasvjeta, optička stakla u objektivima fotoaparata, ...



Goodenough et al. (2017): The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>

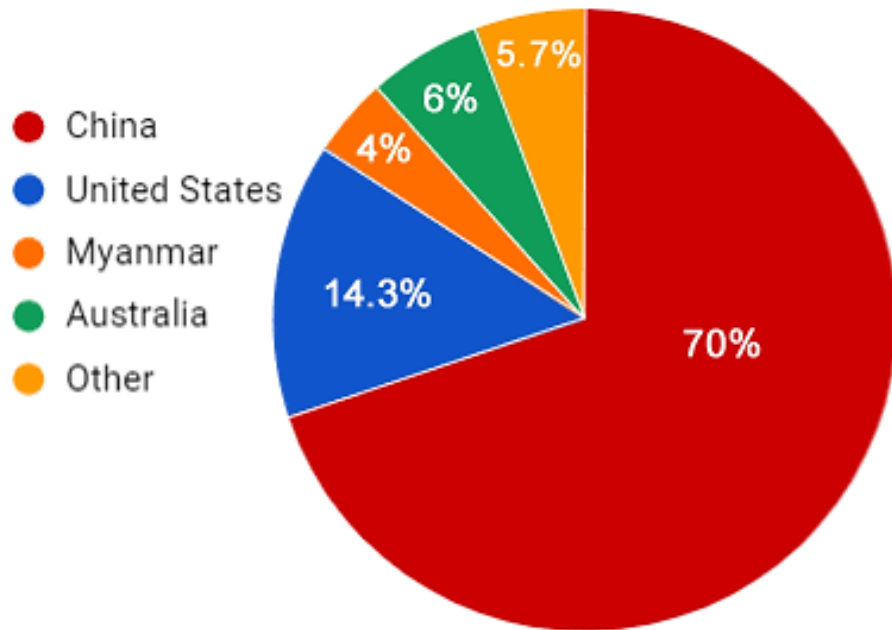


Suli et al. 2017: A Review of Rare Earth Mineral Processing Technology. <https://doi.org/10.3329/cerb.v19i0.33773>

REE

! Geopolitički interes

Producers of Rare Earth Elements

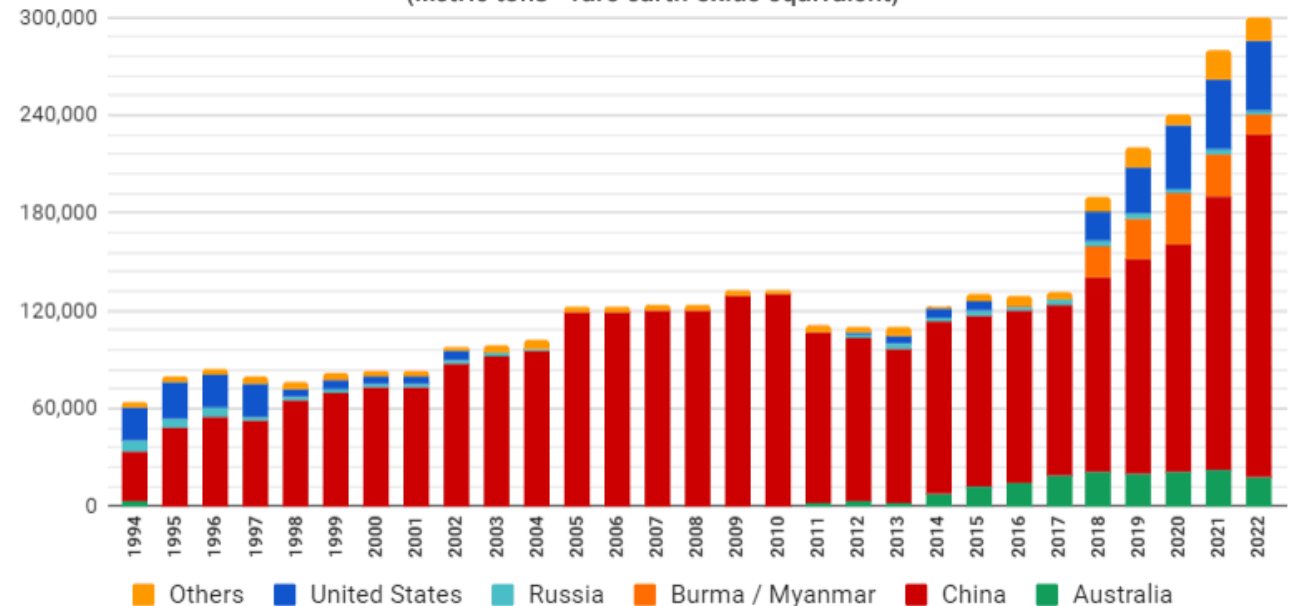


World REE mine production, by country, 2022

Ranking	Country	Tonnes	Percentage of total
1	China	210,000	70%
2	United States	43,000	14%
3	Australia	18,000	6%
4	Burma (Myanmar)	12,000	4%
5	Thailand	7,100	2%
-	Other countries	10,900	4%
-	Total	301,000	100%

Rare Earth Element Production

(Metric tons - rare earth oxide equivalent)

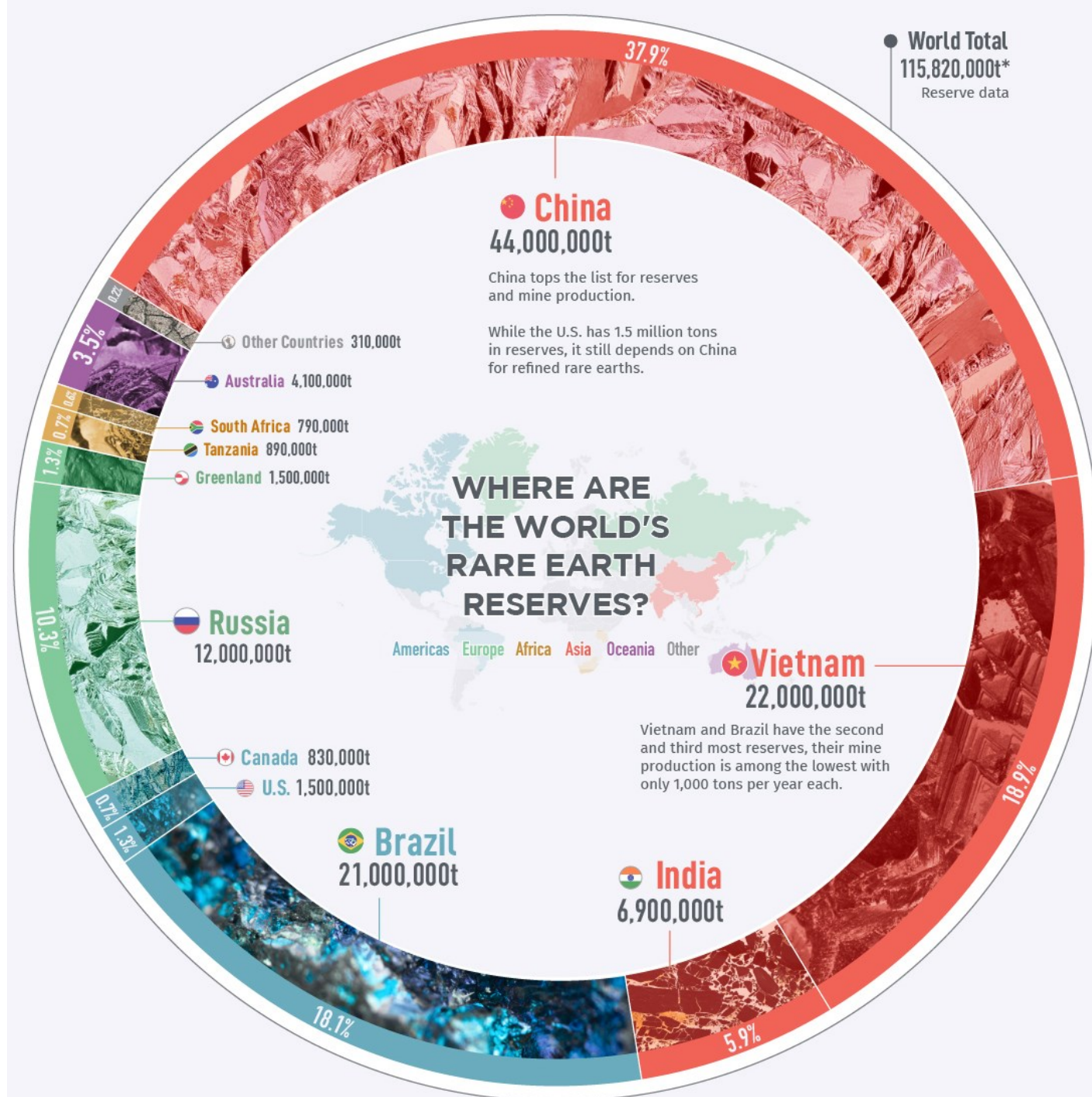


Izvor slike: <https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/rare-earth-elements-facts>, <https://geology.com/articles/rare-earth-elements/>

REE

svjetske rezerve

Country	Reserves	% of Total Reserves
China	44,000,000	38.0%
Vietnam	22,000,000	19.0%
Brazil	21,000,000	18.1%
Russia	12,000,000	10.4%
India	6,900,000	6.0%
Australia	4,100,000	3.5%
United States	1,500,000	1.3%
Greenland	1,500,000	1.3%
Tanzania	890,000	0.8%
Canada	830,000	0.7%
South Africa	790,000	0.7%
Other Countries	310,000	0.3%
Burma	N/A	N/A
Madagascar	N/A	N/A
Thailand	N/A	N/A
Burundi	N/A	N/A
World Total	115,820,000	100%



Razred 10. Fosfati

Tip A(XO₄) – Grupa ksenotima

KSENOTIM YPO₄

Kristalni sustav:	tetragonski (4/m 2/m 2/m)
Habitus:	kratko ili dugo prizmatski kristali s dipiramidama*
Tvrdoća:	4 – 5
Gustoća:	4,4 – 5,1
Kalavost:	savršena po {100}
Lom:	iverast, neravan
Boja:	žućkasto- do crvenkastosmeđa,
Crt:	svijetlosmeđ, žućkast, crvenkast
Sjaj:	voštan
Pojavljivanje:	akcesorni mineral u kiselim magmatskim stijenama; u metamorfnim stijenama
Dodatno:	izvor Y i HREE (zamjene Y↔HREE)

* sličan cirkonu



Razred 10. Fosfati

Tip $A(XO_4)$ – Grupa monazita

MONACIT $(Ce,La,Nd,Th)PO_4$, $(LREE,Th)PO_4$

Kristalni sustav: monoklinski (2/m)

Habitus: bogatstvo različitih formi; kristali obično pločasti
po prednjem pinakoidu

Tvrdoća: 5 – 5 ½

Gustoća: 4,6 – 5,4

Kalavost: dobra po {100} i {010}

Lom: školjkast

Boja: žućkasto-, crvekasto- do zelenkastosmeđ

Crt: bijel, slabo obojen

Sjaj: dijamantan, voštan

Pojavljivanje: najrašireniji mineral REE;
akcesorni mineral u kiselim i neutralnim
magmatskim stijenama;
u metamorfnim stijenama

Dodatno: može se koristiti za datiranje metamorfnih stijena;

primarni izvor LREE i Th



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>



Razred 10. Fosfati

Tip: Fosfati s dodatnim anionima – Grupa apatita

APATIT $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl}, \text{F}, \text{OH})$

Kristalni sustav:	heksagonski (6/m)
Habitus:	duži i kraći prizmatski kristali, pločast, često kristali završavaju dipiramidom ili pinakoidom; zrnat, masivan
Tvrdoća:	5
Gustoća:	3,16–3,22
Kalavost:	slaba po {0001}
Lom:	školjkast
Boja:	nijanse zelene ili smeđe, plav, ljubičast, bezbojan, ...
Crt:	bijel
Sjaj:	staklast do voštan
Pojavljivanje:	akcesorni mineral u mnogim magmatskim stijenama; u sedimentima; u metamorfnim stijenama
Dodatno:	fluorescentan, fosforescentan, termoluminiscentan materijal u kostima i zubima izvor fosfata za gnojiva

hidroksilapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$
fluorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$
klorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$



Izvor fotografija: <https://www.mindat.org>

Razred 10. Fosfati

Tip: Fosfati s dodatnim anionima – Grupa turquoisa

TURQUOIS $\text{Cu}^{2+}\text{Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Kristalni sustav: triklinski ($\bar{1}$)

Habitus: rijetki mali kratkostupičasti kristali;
obično masivan, u konkrecijama,
sigama, žilicama, koricama

Tvrdoća: 5 – 6

Gustoća: 2,6 – 2,84

Kalavost: savršena po {001}

Lom: školjkast

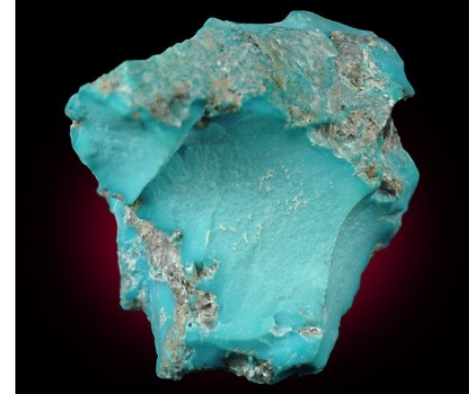
Boja: nebeskiplav, plavičastozelen, zelen,
zelenkastosiv

Crt: bijel, svijetlozelen

Sjaj: staklast do voštan

Pojavljivanje: sekundarni mineral – u oksidacijskim
zonama

Dodatno: gubitak vode dovodi do izbjeljivanja boje



Mineralni resursi – pojmovnik

Mineralni resursi = tvari (minerali, stijene ili drugi materijali) koje se pojavljuju u prirodi od ekonomske važnosti

→ metalne rude, mineralna goriva, drago kamenje,...

➤ **Rudni minerali** = metalni minerali koji se pojavljuju kao dio **rude**, od ekonomske važnosti → **rudna petrologija, ekonomska geologija, geologija mineralnih ležišta**

- izdvajanje metala tehnološkim postupcima
- ostatak, nepoželjan materijal = **jalovina**

➤ **Industrijski minerali** = nemetalni

- sirovina u industriji (pr. u staklarskoj, keramičkoj, cementnoj, kemijskoj, farmaceutskoj, kozmetičkoj, ...)
- građevinski, vatrostalni materijali

➤ **Mineralne sirovine (goriva)** = nafta, plin, ugljen

Petrogeni minerali = minerali koji dominantno grade stijene